

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-3356

(43)公開日 平成5年(1993)1月8日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	FI	技術表示箇所
H 0 1 S 3/07		7630-4M		
G 0 2 B 6/00				
G 0 2 F 1/35	5 0 1	7246-2K		
		9017-2K	G 0 2 B 6/00	E
		7630-4M	H 0 1 S 3/091	

審査請求 未請求 請求項の数3(全5頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平3-180271

(22)出願日 平成3年(1991)6月24日

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 齋藤 朝樹

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72)発明者 鹿田 實

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

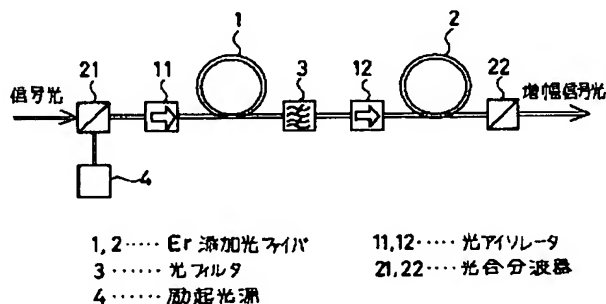
(74)代理人 弁理士 本庄 伸介

(54)【発明の名称】 光ファイバ増幅装置

(57)【要約】

【目的】 高信号利得、高飽和出力及び低雑音特性を有する光ファイバ増幅装置を提供することにある。

【構成】 信号光は、励起光源4から出射される励起光と、それぞれが同じ方向に光ファイバ中を伝播するように光合分波器21によって合波され、光アイソレータ11を通過後、Er添加単一モード光ファイバ1に入射される。Er添加光ファイバ1中で増幅された信号光とEr添加光ファイバ1に吸収されなかった励起光は、信号光波長帯と励起波長帯を通過させる特性を持ち信号光波長帯域ではその中心波長が信号光波長と一致し帯域幅3nmを有する干渉膜フィルタを用いた光フィルタ3を通過後、光アイソレータ12を通過し、Er添加光ファイバ2に入射され増幅される。Er添加光ファイバ2の出力は光合分波器22によって励起光と分波されて出力される。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光学的に縦続接続された2本以上の希土類添加光ファイバと、この希土類添加光ファイバの吸収波長に対応する波長で発光する励起光源と、この励起光源から出力される励起光を前記希土類添加光ファイバに入射させる光結合手段と、被増幅信号光を前記希土類添加光ファイバに入射させる光信号入力部と、増幅された信号光を前記希土類添加光ファイバから取り出す光出力部を含む光ファイバ増幅装置において、前記信号光波長と前記励起光波長を通過させるとともに、前記希土類添加光ファイバから出力される自然放出光を除去する光フィルタを前記希土類添加光ファイバ相互の間に挿入したことを特徴とする光ファイバ増幅装置。

【請求項2】 請求項1記載の光ファイバ増幅装置において、各々の希土類添加光ファイバ相互の間に光アイソレータを挿入したことを特徴とする光ファイバ増幅装置。

【請求項3】 光学的に縦続接続された2本の希土類添加光ファイバと、この希土類添加光ファイバの吸収波長に対応する波長で発光する励起光源と、信号光と前記励起光源から出力される励起光を合波して前記希土類添加光ファイバに同一方向から入射させる第1の光合分波手段と、前記励起光を前記希土類添加光ファイバの信号光出射側から入射させるとともに、増幅された信号光を前記励起光と分離して取り出す第2の光合分波手段を含む光ファイバ増幅装置において、前記信号光波長を通過させるとともに、両側から入射する前記励起光を全反射し再び前記希土類添加光ファイバに入射させ、かつ自然放出光を除去する光フィルタを前記希土類添加光ファイバ相互の間に挿入したことを特徴とする光ファイバ増幅装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、希土類添加光ファイバ中で信号光を光増幅する光ファイバ増幅装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、光ファイバ通信用増幅器として、信号光を光電変換することなく直接光のまま増幅する光増幅器に関する研究が活発に行われている。光増幅器として、希土類の元素であるErを光ファイバに添加した光増幅器(Er添加光ファイバ増幅器)は、光ファイバの最低損失波長域である波長1.55 μ m帯で、30dB以上という高利得が得られること、利得の偏光依存性が殆どないこと、+10dBm以上という高出力が得られること、雑音特性に優れていること、40nmという広増幅帯域幅を持つこと等の長を有することから最近活発な研究開発が行われている(例えば、応用物理学会誌、第59巻(1990年)、1175-1192ページを参照)。

【0003】このEr添加光ファイバ増幅器の励起波長

2

として、高利得が得られ、励起光源として既に半導体レーザーが開発されていることから、0.98 μ m帯と1.48 μ m帯が実用的であると考えられる。0.98 μ m帯励起のEr添加光ファイバ増幅器では励起光波長と増幅光波長が離れているために、理想的な3準位系を形成でき、雑音指数として3dBという量子限界に達することができる。また、1.48 μ m帯励起では、励起光波長と増幅光波長が近いため、雑音指数は4~5dBと0.98 μ m励起に比べ低雑音性においては劣るものの、70%以上の高い励起光パワーから増幅光パワーへの変換効率が得られる。

【0004】上記の特性から、このEr添加光ファイバ増幅器の光ファイバ通信システムへの適用例として、高出力性を積極的に利用して光ブースタ増幅器が、高利得・低雑音性を利用して光受信器の前に配置する光前置増幅器が、光ブースタ増幅器と光前置増幅器両方の特性を持ち合わせた光中継器がある。光ブースタ増幅器では、出力+20dBm以上という報告(J.F.Massicott et al., "Efficient, High Power, High Gain, Er³⁺-Doped Silica Fiber Amplifier," Electronics Letters, 1990, 26, pp.605-607)があり、光前置増幅器では、強度変調直接検波方式で150photons/bit以下という高感度受信の報告(T.Saito et al., "High Receiver Sensitivity at 10 Gb/s Using an Er-Doped Fiber Preampfier Pumped by A 0.98 μ m Laser-Diode," 1991 Optical Fiber Communication Conference, Post-Deadline Paper PD-14)がある。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】希土類添加光ファイバ増幅器を光通信などに適用する際、光増幅器の性能として、利得が大きく、飽和出力が大きく、かつ低雑音であることが望ましい。しかしながら、希土類添加光ファイバ増幅器では、その増幅過程で生じる自然放出光自体が増幅され、これによって信号光の増幅が妨げられ、高利得・高出力を得ることが困難になるという欠点がある。また、自然放出光により出力が飽和すると雑音特性が劣化するという欠点がある。さらに、このことは、光ファイバ増幅器に入射する信号光パワーが小さくなるほど顕著になる。

【0006】本発明の目的は、信号利得と飽和出力が大きく、かつ雑音が低い光ファイバ増幅装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】第1の発明の光ファイバ増幅装置は、光学的に縦続接続された2本以上の希土類添加光ファイバと、この希土類添加光ファイバの吸収波長に対応する波長で発光する励起光源と、この励起光源から出力される励起光を前記希土類添加光ファイバに入射させる光結合手段と、被増幅信号光を前記希土類添加光ファイバに入射させる光信号入力部と、増幅された信

3

号光を前記希土類添加光ファイバから取り出す光出力部を含む光ファイバ増幅装置において、前記信号光波長と前記励起光波長を通過させるとともに、前記希土類添加光ファイバから出力される自然放出光を除去する光フィルタを前記希土類添加光ファイバ相互の間に挿入したことを特徴とする。

【0008】第2の発明の光ファイバ増幅装置は、第1の発明の光ファイバ増幅装置において、各々の希土類添加光ファイバ相互の間に光アイソレータを挿入したことを特徴とする。

【0009】第3の発明の光ファイバ増幅装置は、光学的に縦続接続された2本の希土類添加光ファイバと、この希土類添加光ファイバの吸収波長に対応する波長で発光する励起光源と、信号光と前記励起光源から出力される励起光を合波して前記希土類添加光ファイバに同一方向から入射させる第1の光合分波手段と、前記励起光を前記希土類添加光ファイバの信号光出射側から入射させるとともに、増幅された信号光を前記励起光と分離して取り出す第2の光合分波手段を含む光ファイバ増幅装置において、前記信号光波長を通過させるとともに、両側から入射する前記励起光を全反射し再び前記希土類添加光ファイバに入射させ、かつ自然放出光を除去する光フィルタを前記希土類添加光ファイバ相互の間に挿入したことを特徴とする。

【0010】

【作用】信号光の増幅過程の途中で、それまでに生じ、増幅された自然放出光を光フィルタで除去し再び増幅することによって、自然放出光の存在による飽和出力の制限を緩和でき高出力が得られる。

【0011】本発明は、このことに着目し、第1の発明では、光学的に縦続接続された2本以上の希土類添加光ファイバを使用し、少なくともこの希土類添加光ファイバの間の一ヵ所以上に、信号光を通し、自然放出光を除去する帯域通過型の光フィルタを備えたものである。ただし、光フィルタが励起光も遮断してしまうと励起効率の低下になるため、信号光波長帯と励起光波長帯の2ヵ所に通過特性を持つようにしたところに本発明の特徴がある。この場合、希土類添加光ファイバは複数本必要であるが、励起光は、一ヵ所から入射させても、複数ヵ所から入射させても良い。また、励起方式は、前方励起もしくは後方励起のいずれも可能であり、励起波長も希土類光ファイバの吸収波長に合致するものを自由に選択できる。

【0012】第2の発明では、第1の発明において、各々の光増幅部での利得を大きくした場合には、増幅部間での相互作用が生じる場合もあるが、これはEr添加光ファイバ間に光アイソレータを挿入することによって回避できるところに本発明の特徴がある。

【0013】第3の発明では、光学的に縦続接続された2本の希土類添加光ファイバを使用し、この希土類添加

4

光ファイバの間に、信号光を通し、自然放出光を除去する帯域通過型の光フィルタを備えたものである。ただし、光フィルタが励起光も遮断してしまうと励起効率の低下になるため、信号光波長帯は通過し、励起光波長帯は高い効率で反射する特性を持つようにしたところに本発明の特徴がある。

【0014】

【実施例】次に、図面を参照して、本発明の光ファイバ増幅装置について詳細に説明する。図1は、第1の発明の一実施例を示すブロック図である。光増幅は以下の手順で行われる。まず、信号光は、波長 $1.48\mu\text{m}$ で発振するInGaAs/InPファブリペロ型半導体レーザである励起光源4から出射される励起光と、それぞれが同じ方向に光ファイバ中を伝播するように光ファイバ型の光合分波器21によって合波され、損失1dBの偏光無依存型光アイソレータ11を通過後、内付け化学的気相析出法(MCVD法)によって製作したコア径 $5\mu\text{m}$ 、Erイオン濃度1000ppm、長さ50mのEr添加単一モード光ファイバ1に入射される。Er添加光ファイバ1中で増幅された信号光とEr添加光ファイバ1に吸収されなかった励起光は、信号光波長帯と励起波長帯を通過させる特性を持ち、信号光波長帯域ではその中心波長が信号光波長と一致し帯域幅3nmを有するTiO₂/SiO₂からなる50層の干渉膜型フィルタを用いた光フィルタ3を通過後、再び損失1dBの偏光無依存型光アイソレータ12を通過し、Er添加光ファイバ1と同種で長さ50mのEr添加光ファイバ2に入射され信号光は増幅される。Er添加光ファイバ2の出力は光合分波器22によって励起光と分波されて出力される。

【0015】まず、通常の増幅と同様な特性を得るために、光フィルタ3を取り除き、波長が $1.55\mu\text{m}$ 、光パワーが -40dBm の信号光を光合分波器21に入射させ、励起光パワーを100mWとしたところ、信号利得40dB、信号出力約0dBm、雑音指数10dBが得られた。そこで、Er添加光ファイバ間に光フィルタ3を挿入した。その結果、信号利得60dB、信号出力約10dBmという高利得・高出力が得られ、雑音指数も5dBという低雑音を得られた。

【0016】図2は、この実施例で用いた光フィルタの通過特性を示した図である。 $1.55\mu\text{m}$ の信号光波長帯と $1.48\mu\text{m}$ の励起波長帯を通過させる特性を持ち、信号光波長帯域では帯域幅3nmを有する。

【0017】図3は、第3の発明の一実施例を示すブロック図である。光増幅は以下の手順で行われる。まず、信号光は、波長 $1.48\mu\text{m}$ で発振するInGaAs/InPファブリペロ型半導体レーザである励起光源4から出射される励起光と、それぞれが同じ方向に光ファイバ中を伝播するように光ファイバ型の光合分波器21によって合波され、内付け化学的気相析出法(MCVD

5

法)によって製作したコア径 $5\mu\text{m}$ 、Erイオン濃度 1000ppm 、長さ 50m のEr添加単一モード光ファイバ1に入射される。一方、波長 $1.48\mu\text{m}$ で発振するInGaAs/InPファブリペロ型半導体レーザである励起光源5から出射される励起光は、信号光と反対方向に光ファイバ中を伝播するように光ファイバ型の光合分波器22によって合波され、Er添加光ファイバ1と同種で長さ 50m のEr添加光ファイバ2に入射される。Er添加光ファイバ1中で増幅された信号光は、信号光波長帯域でその中心波長が信号光波長と一致し帯域幅 3nm を有する干渉膜型光フィルタを用いた光フィルタ3を通過後、Er添加光ファイバ2に入射され信号光は増幅される。Er添加光ファイバ1に吸収されなかった励起光は、励起光波長を反射させる特性も備えている光フィルタ3で反射され、再びEr添加光ファイバ1に入射される。同様に、Er添加光ファイバ2に吸収されなかった励起光は、光フィルタ3で反射され、再びEr添加光ファイバ2に入射される。Er添加光ファイバ2の出力は光合分波器22によって励起光と分波されて出力される。

【0018】まず、通常の増幅と同様な特性を得るために、光フィルタ3を取り除き、波長が $1.55\mu\text{m}$ 、光パワーが -40dBm の信号光を光合分波器21に入射させ、2つの励起光パワーをそれぞれ 100mW としたところ、信号利得 55dB 、信号出力約 5dBm 、雑音指数 11dB が得られた。そこで、Er添加光ファイバ間に光フィルタ3を挿入した。その結果、信号利得 65dB 、信号出力約 15dBm という高利得・高出力が得られ、雑音指数も 5dB という低雑音が得られた。

【0019】図4は、この実施例で用いた光フィルタの構造を示した図である。光ファイバ6から出射される信号光101と励起光102は、レンズ31で平行光線にされる。信号光波長は透過し励起光波長は反射するという特性を有している光フィルタ41に入射され、この光フィルタ41で、信号光101は透過されるが、励起光102は反射されてレンズ31で集光され、光ファイバ6に入射される。光フィルタ41を透過した信号光101は、中心波長が信号光波長と一致した帯域幅 3nm の光フィルタ42で自然放出光が除去され、光フィルタ41と同様な特性を有する光フィルタ43を透過されレンズ32で集光されて光ファイバ7に入射される。一方、光ファイバ7から出射される励起光103は、レンズ31で平行光線にされ、光フィルタ43で全反射され、レンズ32で集光され、光ファイバ7に入射される。な

6

お、光フィルタ41、42、43はそれぞれ $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ の酸化薄膜を多層化した干渉膜型のフィルタである。

【0020】本発明にはこの他にも様々な変形例がある。信号光として、信号光波長は $1.55\mu\text{m}$ に限ることなく、 $1.53\mu\text{m}$ 等Er添加光ファイバ増幅器の増幅帯域内の波長であれば良い。

【0021】励起光源の波長は、 $1.48\mu\text{m}$ に限ることなく、 $0.8\mu\text{m}$ 、 $0.98\mu\text{m}$ などのEr添加光ファイバの吸収波長に合致するものであれば良く、使用するレーザはいかなるレーザでも良い。また、信号光と励起光の光合波手段は、光ファイバ型のものに限らず、ダイクロミックミラーなどを用いても良く、その性能を有する限りいかなる素子、要素であっても良い。

【0022】光フィルタは、干渉膜型のものに限らず、回折格子、ファブリ・ペロ型干渉計を用いたものでも良く、その他のものでも良い。また、光フィルタの信号光通過帯の帯域幅は 3nm に限らず、これ以上の 4nm でも、これ以下の 1nm でも良い。Er添加光ファイバのEr濃度やサイズ、及び縦続接続される本数等も本実施例に限定されない。

【0023】

【発明の効果】以上に説明した様に本発明によれば、高利得・高出力かつ低雑音の希土類添加光ファイバ増幅装置を得ることができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の発明の一実施例を示すブロック図である。

【図2】第1の発明の実施例における光フィルタの通過特性を示す図である。

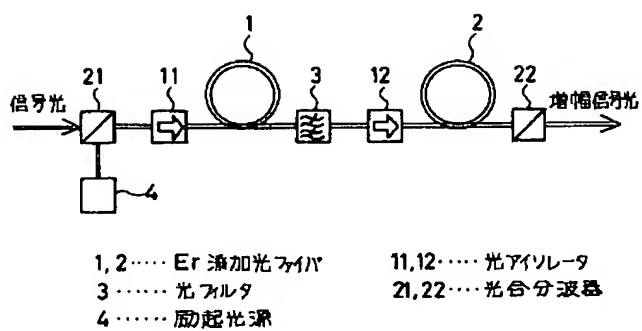
【図3】第3の発明の一実施例を示すブロック図である。

【図4】第3の発明の実施例における光フィルタの構造図である。

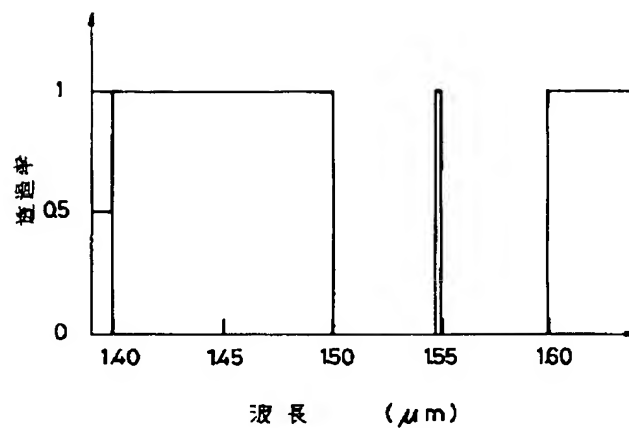
【符号の説明】

- 1, 2 Er添加光ファイバ
- 3, 41, 42, 43 光フィルタ
- 4, 5 励起光源
- 6, 7 光ファイバ
- 11, 12 光アイソレータ
- 21, 22 光合分波器
- 31, 32 レンズ
- 101 信号光
- 102, 103 励起光

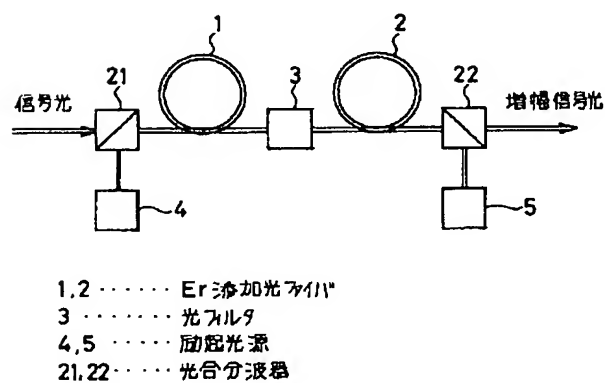
【図1】



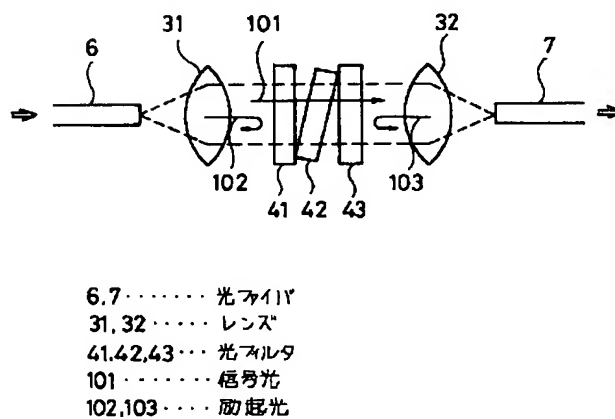
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. ⁵

H 0 1 S 3/091

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所